

Verfahren zum Herstellen einer optischen Faser mit einer Auskoppelstelle für Streulicht, Verwendung einer optischen Faser und Vorrichtung zum Überwachen von in einer optischen Faser geführter Lichtleistung

5

Die vorliegende Erfindung betrifft optische Fasern und insbesondere das Herstellen einer optischen Faser mit einer Auskoppelstelle für Streulicht und das Messen der in dieser optischen Faser geführten optischen Leistung. Vorgestellt werden ein Verfahren zum Herstellen einer optischen Faser mit einer Auskoppelstelle für Streulicht und eine Verwendung einer optischen Faser sowie eine Vorrichtung zum Überwachen von in dieser optischen Faser geführter Lichtleistung. Die Verwendung der optischen Faser zur Überwachung eignet sich insbesondere zur Regelung der Lichtleistung einer Lichtquelle oder alternativ zur Regelung des Einkoppelmechanismus der Lichtquelle in die optische Faser.

Unter dem Begriff „optische Faser“ wird nachfolgend ein faserartiger, dielektrischer Körper verstanden, welcher eine erste Region mit relativ hohem Brechungsindex (sogenannter „Kern“, englisch: „core“) sowie eine die erste Region umgebende zweite Region mit relativ niedrigem Brechungsindex (sogenannter „Mantel“, englisch: „cladding“) aufweist. Der Mantel kann zusätzlich von einer äußeren Schutzschicht (englisch: „coating“) umgeben sein. Eine optische Faser ist zur verlustarmen Leitung elektromagnetischer Strahlung im ultravioletten, sichtbaren oder infraroten Bereich optimiert.

In Fig.1a ist ein schematischer Querschnitt durch eine optische Faser 100 senkrecht zur Faserachse dargestellt, welche einen Kern 101, einen Mantel 102, eine Schutzschicht 103 sowie eine Grenzfläche 104 zwischen dem Kern 101 und dem Mantel 102 aufweist. Das dem in Fig.1a dargestellten

Querschnitt der optischen Faser 100 entsprechende Brechungsindex-Profil 110 ist in Fig.1b dargestellt. Darin sind die Brechungsindizes  $n$  in Abhängigkeit vom Radius der optischen Faser 100 der Fig.1a als Balkendiagramm dargestellt  
5 (nicht maßstabsgerecht). Die Größe der Brechungsindizes  $n$  nimmt in dem Brechungsindex-Profil 110 von links nach rechts zu, wie durch den Pfeil 111 verdeutlicht wird. Der Kern 101 weist einen ersten Brechungsindex  $n_1$  auf, weshalb der Kern 101 durch einen ersten Balken 101a großer Breite symbolisiert  
10 wird. Der den Kern 101 umgebende Mantel 102 weist einen zweiten Brechungsindex  $n_2$  auf, welcher kleiner als der erste Brechungsindex  $n_1$  des Kerns ist. Deshalb wird der Mantel 102 in dem Brechungsindex-Profil 110 mittels zweier oberhalb und unterhalb an den ersten Balken 101a angrenzender zweier  
15 Balken 102a mittlerer Breite symbolisiert. Die den Mantel 102 umhüllende Schutzschicht 103 wird mittels zweier oberhalb und unterhalb an den zweiten Balken 102a angrenzender dritter Balken 103a geringer Breite symbolisiert, da die Schutzschicht einen dritten Brechungsindex  $n_3$  aufweist,  
20 welcher kleiner als der zweite Brechungsindex  $n_2$  des Mantels 102 ist. Wie Fig.1b zu entnehmen ist, existiert an der Grenzfläche 104 zwischen dem Kern 101 und dem Mantel 102 ein Brechungsindex-Sprung 104a zwischen dem ersten Brechungsindex  $n_1$  des Kerns 101 und dem zweiten Brechungsindex  $n_2$  des  
25 Mantels 102.

Die Leitung der elektromagnetischen Strahlung im Kern 101 der optischen Faser 100 erfolgt mittels Totalreflexion an der Grenzfläche 104 bedingt durch den Brechungsindex Sprung 104a.  
30 Üblicherweise trifft ein elektromagnetischer Strahl unter einem Winkel  $\alpha_1$ , welcher größer als der Grenzwinkel  $\alpha_c$  für Totalreflexion ist, d.h. es gilt  $\alpha_1 > \alpha_c$ , auf die Grenzfläche 104 zwischen dem Kern 101 und dem Mantel 102 und wird dort

total reflektiert ( $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  beziehen sich auf die Flächennormale der Grenzfläche 104).

Unter dem Begriff „laseraktive optische Faser“ wird  
5 nachfolgend eine optische Faser verstanden, deren Kern mit einem laseraktiven Material dotiert ist, beispielsweise mit einer Seltenerdverbindung. Auf Grund von Absorption von in die optische Faser eingekoppelter optischer Energie (dem sogenannten „Pumplicht“) wird im Kern der optischen Faser  
10 eine Besetzungsinversion der Energieniveaus des Dotierungsmaterials hervorgerufen, so dass bei einer oder mehreren Wellenlängen Lichtverstärkung resultiert. Laseraktive optische Fasern können als Faserlaser oder als Faserverstärker betrieben werden.

15

Unter dem Begriff „photonische Kristall-Faser“ (englisch: „photonic crystal fiber“) wird nachfolgend eine optische Faser verstanden, welche im Inneren strukturiert ist, und zwar in der Regel mittels mikroskopisch feiner Löcher in  
20 Quarzglas. Auf Grund der Strukturierung entsteht eine photonische Bandlücke (englisch: „photonic band gap“), so dass Licht eines bestimmten Wellenlängenbereichs in der optischen Faser geführt wird.

25 Unter dem Begriff „Faserspleiß“ wird nachfolgend eine Verbindung zwischen zwei optischen Fasern verstanden, welche nicht auf häufiges Trennen und Zusammenfügen ausgelegt ist, sondern vielmehr als dauerhafte Verbindung auf einen geringen Strahlungsverlust an der Verbindungsstelle optimiert ist.  
30 Typischerweise werden die Fasarenden beim Faserspleiß miteinander verschweißt, beispielsweise mittels einer Hitze- oder Lichtwirkung oder eines elektrischen Lichtbogens.

Aus dem Stand der Technik sind verschiedene Verfahren bekannt, um einen Teil des in einer optischen Faser geführten Lichts abzuzapfen (englisch: "tapping") und zu detektieren. Eine Vielzahl dieser bekannten Verfahren beruht auf einer  
5 mechanischen Modifikation einer optischen Faser.

So beschreiben [1] und [2], wie mittels Fixierens einer optischen Faser und Anschneidens oder Polierens des Fasermantels das geführte Licht abgezapft werden kann. In [3]  
10 wird der Gebrauch eines aus lichtleitendem Material gefertigten Verbindungsstücks gelehrt, welches die Schutzschicht und den Mantel einer optischen Faser entfernt, so dass der Faserkern freigelegt wird und Licht in das Verbindungsstück eingekoppelt wird.

15 In [4] ist ein Verfahren zum Extrahieren von Licht aus einer optischen Faser beschrieben, bei welchem die optische Faser eingedrückt oder deformiert wird. Hierzu kann beispielsweise ein Keil auf die optische Faser gedrückt werden. Auf Grund  
20 der Deformation können in der optischen Faser reflektierende Flächen geschaffen werden, welche einen Teil des Lichts auf einen entsprechend positionierten Detektor reflektieren.

Gemäß [5] kann eine periodische räumliche Deformation einer  
25 optischen Faser genutzt werden, um Licht aus der optischen Faser abzuzweigen. Hierzu kann beispielsweise die optische Faser gegen eine feste, gitterartige Struktur gepresst werden. Bei gewissen, durch die Gitterperiode bestimmten, optischen Frequenzen kommt es zur Modenmischung, etwa  
30 zwischen Kern- und Mantelmoden der optischen Faser. Die Mantelmoden können aus der optischen Faser abgezapft werden, wobei die Intensität der ausgekoppelten Leistung mittels der Stärke des Anpressdrucks variiert werden kann.

Aus dem Stand der Technik sind neben rein mechanischen Modifikationen der Faserstruktur auch Verfahren bekannt, welche sich chemischer Methoden bedienen.

- 5 So wird in [6] eine Abzapfvorrichtung beschrieben, bei welcher in einer optischen Faser zunächst Mantelmoden induziert werden, welche anschließend an einer verjüngten Stelle der optischen Faser detektiert werden. Die Verjüngung wird produziert, indem beispielsweise nach Entfernen der  
10 Schutzschicht ein Teil des Fasermantels chemisch weggeätzt wird.

- Die oben beschriebenen Verfahren des Standes der Technik weisen einen oder mehrere der folgenden Nachteile auf: Aus  
15 Grund der Schwächung der Faserstruktur wird die mechanische Stabilität der optischen Faser reduziert. Die Fertigung der beschriebenen Vorrichtungen ist oft kompliziert, aufwändig und teuer und birgt die Gefahr einer unbeabsichtigten Schädigung oder Zerstörung der optischen Faser, insbesondere  
20 des Faserkerns. Verfahren, welche eine mechanische oder chemische Verkleinerung des Fasermantels einschließen, haben weiterhin den Nachteil, dass das ausgekoppelte Licht relativ zur Ausbreitungsrichtung vorwiegend unter sehr kleinen Winkeln gestreut wird. Dies erschwert die Lichtdetektion  
25 und/oder macht hierzu komplexe Aufbauten nötig.

- Eine zweite Gruppe von Verfahren verwendet eine hinreichend enge Biegung einer optischen Faser, um einen Teil der Lichtleistung zu extrahieren. Ein solcher „Biegekoppler“ wird  
30 beispielsweise in [7] beschrieben. Eine Vorrichtung zur Überwachung der in einer optischen Faser geführten Lichtleistung wird in [8] vorgestellt, wobei zunächst die im Mantel propagierenden Moden mittels eines sogenannten „mode stripper“, d.h. eines Materials, dessen Brechungsindex gleich

oder größer als der des Mantels ist, entfernt werden. Anschließend wird ein Teil der geführten Lichtleistung über einen Biegekoppler ausgekoppelt.

- 5 In [9] wird eine Batterie- oder Solarzellen-betriebene Vorrichtung zur Messung der in einer optischen Faser geführten Leistung beschrieben, bei der mittels einer „Mikrobiegung“ ein Teil der Lichtleistung aus der optischen Faser entfernt wird. Eine solche Mikrobiegung wird
- 10 hergestellt, indem die optische Faser an einer Stelle mit einem Biegecradius von vorzugsweise  $< 2$  mm eng gebogen wird, wobei auf Grund eines lokalen Erhitzens die Temperatur der optischen Faser kurzfristig über den Schmelzpunkt angehoben wird. Nach dem Abkühlen ist die Mikrobiegung in der optischen
- 15 Faser mechanisch fixiert. Die Mikrobiegung in der optischen Faser führt dazu, dass in dem Kern der optischen Faser ankommende Lichtstrahlen im Bereich der Mikrobiegung unter einem Winkel  $\alpha_2$  auf die Grenzfläche zwischen dem Kern und dem Mantel der optischen Faser treffen, welcher Winkel  $\alpha_2$  kleiner
- 20 als der Grenzwinkel  $\alpha_c$  für Totalreflexion ist, d.h. es gilt  $\alpha_2 < \alpha_c$  ( $\alpha_2$  und  $\alpha_c$  beziehen sich auf die Flächennormale der Grenzfläche). Daher werden im Bereich der Mikrobiegung die Lichtstrahlen nicht total reflektiert, sondern teilweise durch den Mantel hindurch aus der optischen Faser
- 25 ausgekoppelt.

- Ein Nachteil solcher Vorrichtungen besteht in der schwierigen Reproduzierbarkeit der ausgekoppelten Intensität, da der Anteil der ausgekoppelten Leistung von der Struktur und
- 30 Zusammensetzung der jeweiligen optischen Faser abhängt. Außerdem besteht die Gefahr eines Faserbruchs, sofern nicht aufwändige Maßnahmen getroffen werden, um dies zu vermeiden ([10] beschreibt einen Biegekoppler mit Vorrichtungen, die in geeigneter Weise Kompressionsdruck auf die optische Faser

ausüben, um die Gefahr eines Faserbruchs zu reduzieren). Ein anderer Nachteil solcher Vorrichtungen ergibt sich aus der ausgedehnten räumlichen Verteilung des abgestrahlten Lichts. So ist es schwierig, dieses Licht auf einem kleinen Photodetektor zu sammeln, was die Eignung solcher Koppler für schnelle Regelungen beeinträchtigt.

Thermisch hergestellte Mikrobiegungen, wie in [9] dargestellt, weisen neben der kritischen mechanischen Stabilität die fertigungstechnische Schwierigkeit auf, dass bei der Herstellung mindestens zwei Parameter (Temperatur und Biegeradius) überwacht werden müssen. Dies erhöht die Gefahr einer Schädigung der optischen Faser, beispielsweise auf Grund von zu hoher oder zu langer Temperatureinwirkung.

Bei einer weiteren Gruppe von Verfahren wird die Faser durchtrennt, um einen Teil der Lichtleistung abzuzapfen. So beschreibt [11] einen Strahlteiler, der mittels einer exakten koaxialen Ausrichtung zweier Faserstücke mit schräg gekanteten, zueinander parallelen Endflächen realisiert wird. An den Endflächen wird Licht aus der optischen Faser herausreflektiert. Dieses Verfahren erfordert jedoch eine extrem genaue und daher aufwändige Justage. Zudem besteht die Gefahr, dass mechanische Erschütterungen zu einem Versatz der Faserstücke führen, wodurch der Lichtleiter unterbrochen wird.

Weiterentwicklungen dieser Idee beinhalten die Herstellung von Nahtstellen mittels Spleißens von Faserstücken. In [12] wird ein faseroptischer Leistungsmonitor vorgestellt, bei dem zwei optische Fasern mit unterschiedlichen Modenvolumina zusammengespliced werden. Dabei ist das Modenvolumen der zweiten optischen Faser kleiner als das der ersten optischen Faser, so dass ein Teil des in der ersten optischen Faser

geführten Lichts nicht in der zweiten optischen Faser propagieren kann. Das entstandene Streulicht an der Splice-Stelle wird detektiert und dient als Regelsignal einer Leistungsregelung.

5

Das in [11] beschriebene Verfahren erfordert optische Fasern mit verschiedenen Modenvolumina, beispielsweise werden optische Fasern mit unterschiedlichen Brechungsindexprofilen verwendet. Jedoch sind im Fall von Single-Mode-Wellenleitern - speziell bei weniger verbreiteten Wellenlängen - geeignete optische Fasern mit unterschiedlicher Brechungsindexgeometrie nur schwer oder gar nicht erhältlich. Weiterhin ist dieses Verfahren bei der Verwendung von Multi-Mode-Wellenleitern von Nachteil, wenn sich das Strahlprofil bzw. die transversale Modenstruktur der Lichtquelle ändert, beispielsweise infolge von Leistungsschwankungen einer Laserlichtquelle oder infolge einer mechanischen Einwirkung auf die optische Faser (z.B. auf Grund von Berührungen). In diesem Fall kann sich das Verhältnis der in den beiden optischen Fasern geführten Lichtleistung ändern. Somit ist dieses Verfahren hinsichtlich seiner Eignung, die in der zweiten optischen Faser geführte Leistung zu messen, fehleranfällig.

In [12] wird ein Verfahren gelehrt, bei dem eine optische Faser durchtrennt und eine der entstandenen Endflächen in einer Vakuumanlage mit einem dielektrischen Material (z.B.  $\text{TiO}_2$ ) oder mit einem Metall (z.B. Ti) beschichtet wird. Anschließend werden die Faserstücke wieder miteinander verschweißt. Dabei werden so lange Lichtbögen verabreicht, bis eine gewünschte Reflektivität der Nahtstelle erhalten wird.

Wesentliche Nachteile dieses Verfahrens sind der fertigungstechnische Aufwand für spezielle gefertigte



optische Fasern auf Grund der Vakuum-Beschichtung sowie die hiermit verbundenen apparativen Kosten. Zur Herstellung dieser speziell gefertigten optischen Fasern wird insbesondere eine optische Faser senkrecht zur Faserachse  
5 getrennt, so dass zwei Faserenden entstehen, bei einem dieser zwei Faserenden wird in einer Vakuumapparatur die Stirnfläche mit einem geeigneten Brechungs- bzw. Reflexionsmaterial beschichtet und dann werden das beschichtete Faserende und das unbeschichtete Faserende stirnseitig miteinander  
10 verspleißt. Somit ist zur Herstellung zumindest ein aufwändiger Vakuum-Beschichtungsprozess erforderlich. Zudem besteht die Gefahr, dass infolge ungewollter Absorption durch dieses Brechungs- bzw. Reflexionsmaterial die Transmissionseigenschaften einer solchen optischen Faser  
15 verschlechtert werden.

Wieder andere Verfahren benutzen eine Dotierung der optischen Faser mit Fremdatomen oder -partikeln, um einen Teil des Lichts mittels Reflexion oder Brechung auszukoppeln. Laut  
20 [13] kann Streulicht generiert werden, indem in die optische Faser eingebrachte Mittel (z.B. chemische Beimischungen) genutzt werden, welche einen oder mehrere Faserparameter verändern. Diese Veröffentlichung verweist insbesondere auf „aktivierbare Mittel“, also beispielsweise Fremdatome, welche  
25 auf Grund der Einwirkung elektromagnetischer Strahlung, auf Grund von Hitze oder auf Grund von Elektronen- oder Ionenbeschuss eine Änderung des Brechungsindex (oder eines anderen Faserparameters) hervorrufen.

30 Ein Nachteil dieser Vorrichtung sind erhöhte Materialkosten, die auf Grund der Verwendung speziell gefertigter optischer Fasern entstehen. Zudem besteht die Gefahr, dass infolge ungewollter Absorption in solch speziell gefertigten

optischen Fasern die Transmissionseigenschaften einer solchen optischen Faser verschlechtert werden.

Die Verwendung von Licht-streuenden oder Licht-brechenden Partikeln im Kern eines Lichtleiters wird in [14] beschrieben. Werden die Partikel bei der Faserherstellung eingebracht, so emittiert die optische Faser auf der ganzen Länge Streulicht. Alternativ wird zunächst der Faserkern geformt, der mittels Hitze oder Strahlung behandelt wird, um lichtablenkende Störstellen zu generieren; oder die optische Faser wird nach Fertigstellung mittels ionisierender Strahlung oder Laserlicht bestrahlt, wodurch mikroskopische Defizite in der Struktur des Faserkerns hervorgerufen werden.

Werden die Partikel bei der Faserherstellung eingebracht, so tritt auch hier der Nachteil einer hohen Dämpfung des geführten Lichts auf. Zudem ist der relative Anteil der ausgekoppelten Lichtleistung schwer zu kontrollieren. Andererseits wird in der Veröffentlichung darauf hingewiesen, dass die dort genannten Möglichkeiten nicht gut geeignet sind, um erst nach Fertigstellung der optischen Faser Streuzentren einzubringen.

Auch in [15] wird eine optische Faser beschrieben, deren Kern mit lichtstreuenden Teilchen als Streuzentren durchsetzt ist. Diese lichtstreuenden Teilchen können mittels Einmischens von entsprechender Materie in die Schmelze, aus der der Kern der optischen Faser gezogen wird, und mittels Besprühens des Kerns mit entsprechender Materie, bevor der Mantel erzeugt wird, in den Kern eingebracht werden.

Eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Überwachen von in einer optischen Faser geführten Lichts sind aus [16] bekannt. Dort wird eine optische Faser in der Nähe einer Nahtstelle in

der optischen Faser (jedoch nicht an der Nahtstelle selbst) mittels eines Glasröhrchens ummantelt. Dieses Glasröhrchen ist mit einem Kleber gefüllt und führt Streulicht, welches an der Nahtstelle aus dem Kern der optischen Faser in den Mantel  
b abgestrahlt wird und von dort in das Glasröhrchen übertragen wird, auf einen Detektor.

Aus [17] ist eine Überwachungs- und Schutzeinrichtung von Lichtwellenleiter (LWL)-Kabeln bekannt, die eine  
10 Energieleckage aus einem LWL-Kabel bzw. einer LWL-Faser infolge einer Störung registriert. Die Schädigung des LWL-Kabels entsteht durch unkontrollierte Auskopplung der Laserstrahlen an Störstellen der LWL-Fasern, z.B. auf Grund einer geringfügigen Unterschreitung des zulässigen  
15 Biegeradius.

Ein Verfahren zum Überwachen eines Spleißvorganges beim Verspleißen zweier optischer Fasern wird in [18] beschrieben. Kurz vor dem Spleißvorgang wird Licht durch die beiden  
20 optischen Fasern transmittiert, das an der zu verspleißenden Stelle austretende Streulicht wird mittels eines Detektors detektiert und die beiden optischen Fasern aufeinander derart einjustiert, bis der Detektor kein Streulicht mehr detektiert. Somit wird eine optimale Justage der beiden  
25 optischen Fasern zueinander erreicht, d.h. die beiden optischen Fasern werden erst dann miteinander verspleißt, wenn eine optimale Transmission von Licht durch die beiden optischen Fasern hindurch erreicht wurde.

30 In [19] wird ein räumlich quantitativer Lichtdetektor offenbart, welcher eine optische Faser und einen an die optische Faser gekoppelten Fotosensor aufweist. Der Kern der optischen Faser ist mit einem fluoreszierenden Stoff durchsetzt. Licht, welches auf die Oberfläche der optischen

Faser einfällt, wird in der optischen Faser zu dem FOTOSensor geleitet und dort von dem FOTOSensor erfasst.

5 Die vorliegende Erfindung hat zum Ziel, einen einfach, reproduzierbar und automatisiert zu fertigenden, preiswerten und kompakten Leistungsmonitor zur Überwachung der in einer optischen Faser geführten Lichtleistung zu realisieren.

10 Außerdem soll ein Aufbau mit einer hohen mechanischen Stabilität, insbesondere einer Langzeitstabilität, realisiert werden, so dass keine Gefahr einer unbeabsichtigten Schädigung der optischen Faser besteht.

15 Zur Überwachung der geführten Leistung ist eine Auskopplung eines Lichtsignals derart vorzunehmen, dass eine definierte und kontrollierbare Dämpfung des transmittierten Lichts besteht.

20 Auch soll die Detektion des aus der optischen Faser austretenden Lichtsignals mittels Streuzentren verbessert werden, ohne dass die geführte Lichtleistung ungewollt beeinträchtigt wird.

25 Ein anderes Ziel der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Überwachung der in einer optischen Faser geführten Lichtleistung vorzustellen, welches für Single-Mode- und Multi-Mode-Fasern, passive und laseraktive optische Fasern sowie photonische Kristall-Fasern geeignet ist.

30 Die oben genannten Probleme werden durch ein Verfahren zum Herstellen einer optischen Faser mit einer Auskoppelseite für Streulicht, eine Verwendung einer entsprechend hergestellten optischen Faser sowie eine Vorrichtung zum Überwachen von in einer optischen Faser geführter

Lichtleistung mit den Merkmalen gemäß den unabhängigen Patentansprüchen gelöst.

Bei einem Verfahren zum Herstellen einer optischen Faser mit  
5 einer Auskoppelstelle für Streulicht zur Überwachung der  
Leistung von Licht, welches durch die optische Faser geleitet  
wird, wobei die optische Faser einen Kern mit einem ersten  
Brechungsindex sowie einen den Kern umgebenden Mantel mit  
10 einem zweiten Brechungsindex, welcher kleiner als der erste  
Brechungsindex ist, aufweist und wobei ein Abschnitt der  
optischen Faser im Bereich der Auskoppelstelle im  
Wesentlichen gerade ausgerichtet ist, wird die optische Faser  
an einer Zwischenstelle innerhalb des im Wesentlichen gerade  
ausgerichteten Abschnitts derart elektrothermisch behandelt,  
15 dass es im Grenzbereich zwischen dem Kern und dem Mantel zu  
einer partiellen Mischung von Kernmaterial mit Mantelmaterial  
und somit zur Ausbildung von Streuzentren kommt, wodurch aus  
der derart modifizierten Zwischenstelle die Auskoppelstelle  
für Streulicht entsteht.

20 Im Rahmen dieser Anmeldung wird unter einem "im Wesentlichen  
geraden Bereich einer optischen Faser" ein Bereich einer  
optischen Faser verstanden, welcher entweder gerade ist oder  
maximal eine derartige Biegung aufweist, dass ankommende  
25 Lichtstrahlen innerhalb dieses Bereiches stets unter einem  
Winkel  $\alpha_3$  auf die Grenzschicht zwischen dem Kern und dem  
Mantel auftreffen, welcher größer als der Grenzwinkel  $\alpha_g$  für  
Totalreflexion ist, d.h. es gilt  $\alpha_3 > \alpha_g$  ( $\alpha_3$  und  $\alpha_g$  beziehen  
sich auf die Flächennormale der Grenzschicht). Folglich  
30 werden Lichtstrahlen in dem "im Wesentlichen geraden Bereich  
einer optischen Faser" stets auf Grund von Totalreflexion  
durch die optische Faser hindurch geleitet.

Das Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass es mit einem geringen fertigungstechnischen Aufwand, mit geringen Herstellungskosten und mit einer hohen Reproduzierbarkeit durchgeführt werden kann.

5

Das Prinzip der Erfindung besteht anschaulich darin, dass eine optische Faser an einer Zwischenstelle, an welcher die optische Faser im Wesentlichen gerade ausgerichtet ist, mittels elektrothermischer Behandlung in ihrer Struktur verändert wird, d.h. eine partielle Vermischung von Kernmaterial mit Mantelmaterial im Grenzbereich zwischen dem Kern und dem Mantel verursacht wird, so dass an der mindestens einen Zwischenstelle Streulicht aus der optischen Faser austritt. Bei der partiellen Vermischung von Kernmaterial mit Mantelmaterial im Grenzbereich zwischen dem Kern und dem Mantel werden für ankommende Lichtstrahlen vereinzelte Streuzentren in den peripheren Bereich des Kerns eingebracht, welche auftreffende Lichtstrahlen derart in ihrer Richtung ablenken, dass sie unter einem Winkel  $\alpha_2$  auf die Grenzschrift auftreffen. Dieser Winkel  $\alpha_2$  ist nur für diese an den Streuzentren abgelenkten Lichtstrahlen kleiner als der Grenzwinkel  $\alpha_g$  für Totalreflexion, d.h. es gilt  $\alpha_2 < \alpha_g$  ( $\alpha_2$  und  $\alpha_g$  beziehen sich auf die Flächennormale der Grenzschrift). Folglich werden diese an den Streuzentren abgelenkten Lichtstrahlen nicht total reflektiert, sondern durch die Grenzschrift und den Mantel hindurch aus der optischen Faser ausgekoppelt. Es wird somit ein Teil des in die optische Faser eingekoppelten Lichts nicht mehr weiter in der optischen Faser geführt, sondern tritt aus der optischen Faser als Streulicht aus. Das Streulicht kann von einem Detektor erfasst werden und kann dann einen Messwert für die in der optischen Faser geführte Lichtleistung liefern.

30

Vorzugsweise werden vor der elektrothermischen Behandlung die optische Faser an der Zwischenstelle im Wesentlichen senkrecht zur Faserachse durchtrennt, so dass zwei freie Faserenden entstehen, und die zwei freien Faserenden 5 stirnseitig unmittelbar miteinander verspleißt, so dass die zwei verspleißten Faserenden im Wesentlichen gerade ausgerichtet sind. Die erfindungsgemäße elektrothermische Behandlung wird folglich als Nachbehandlung der verspleißten Zwischenstelle durchgeführt. Das Verspleißen der zwei 10 Faserenden kann insbesondere mit einem geringfügigen Querversatz der Faserenden erfolgen.

Alternativ wird die elektrothermische Behandlung unmittelbar an einer mechanisch unversehrten Zwischenstelle der optischen 15 Faser durchgeführt.

Während der elektrothermischen Behandlung der optischen Faser werden bevorzugt die Leistung des Lichts, welches durch die optische Faser geleitet wird, überwacht und die 20 elektrothermische Behandlung beendet, wenn eine gewünschte Dämpfung dieser Leistung erreicht ist.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird die Auskoppelstelle vorzugsweise mit einem lichtstreuenden, lichtbrechenden oder 25 lichtreflektierenden Material oder mit einem lichtabsorbierenden und nachfolgend lichtemittierenden Material umgeben, so dass der Anteil des detektierbaren Streulichts modifiziert, insbesondere erhöht, wird.

30 Die elektrothermische Behandlung der Zwischenstelle kann durch einen einzelnen Lichtbogen erfolgen. Es können jedoch auch mehrere im zeitlichen Abstand aufeinander folgende Lichtbögen zur Anwendung kommen. In letzterem Falle kann insbesondere die Intensität der Lichtbögen variieren, d.h. es

kann vor allem die zeitliche Dauer der einzelnen Lichtbögen variiert werden, wodurch eine unterschiedliche Leistung an der zu behandelnden Zwischenstelle eingekoppelt wird.

- 5 In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung wird an der Auskoppelstelle ein Detektor zum Erfassen von aus der Auskoppelstelle der optischen Faser emittiertem Streulicht angebracht. Dieser Detektor kann als Istwert-Geber in einem Regelkreis verwendet werden, welcher die Leistung des durch  
10 die optische Faser hindurch geleiteten Lichts regeln kann.

- Vorzugsweise wird mindestens eine Zwischenstelle von einem granularen Material oder von einem fluoreszierenden oder phosphoreszierenden Material umgeben, wodurch an der  
15 Auskoppelstelle die Anzahl der Streuzentren erhöht wird. Dadurch kann das nutzbare Lichtsignal am Detektor erhöht werden. Dieses granulare oder fluoreszierende bzw. phosphoreszierende Material kann mit einem Kleber vermischt werden, welcher seinerseits zum Fixieren der optischen Faser  
20 verwendet wird.

- Als granulares Material kann Glasmehl, beispielsweise mit einem Partikeldurchmesser von  $< 100 \mu\text{m}$ , vorzugsweise mit einem Partikeldurchmesser von  $40 \mu\text{m}$  bis  $60 \mu\text{m}$ , verwendet  
25 werden. Das fluoreszierende oder phosphoreszierende Material wird derart ausgewählt, dass das fluoreszierende oder phosphoreszierende Material zur Wellenlängenkonversion des Streulichts dient, um das Streulicht an die Detektorempfindlichkeit anzupassen.

- 30 Um Umgebungslicht vom Detektor fernzuhalten, können dieser und die Auskoppelstelle gemeinsam mit absorbierendem Material ummantelt werden. Auf diese Weise wird der Detektor vor Streulicht aus unerwünschten Richtungen geschützt. Das



absorbierende Material kann mit einem Kleber vermischt werden, welcher seinerseits zum Fixieren des Detektors verwendet wird. Als absorbierendes Material kann insbesondere Siliziumkarbid oder Kohlepulver verwendet werden.

5

Erfindungsgemäß kann als optische Faser eine optische Faser mit mindestens einer der nachfolgenden Eigenschaft verwendet werden: die Eigenschaft einer Single-Mode-Faser, einer Multi-Mode-Faser, einer polarisationserhaltenden optischen Faser, einer laseraktiven optischen Faser und einer photonischen Kristall-Faser.

10

Vorzugsweise wird die Lichtleistung nach ihrem Durchgang durch die optische Faser mit dem von dem Detektor detektierten Streulicht korreliert. Die Lichtleistung nach ihrem Durchgang durch die optische Faser ist insbesondere direkt proportional zu dem von dem Detektor detektierten Streulicht.

15

Durch die optische Faser wird Licht einer Lichtquelle transmittiert. Das aus der optischen Faser emittierte und mittels des Detektors erfasste Streulicht wird dann bevorzugt zur Leistungsregelung der Lichtquelle und/oder zur Regelung der Einkoppeleffizienz des Lichts der Lichtquelle in die optische Faser verwendet. Anschaulich wird das gemessene Signal des Detektors relativ zur Ausgangsleistung kalibriert und kann dieses anschließend als Ist-Wert einer Regelungsschleife dienen, welche die in die optische Faser eingekoppelte Leistung der Lichtquelle oder den Einkoppelmechanismus der Lichtquelle in die optische Faser reguliert.

25

30

Eine erfindungsgemäße Vorrichtung mit einem Regelkreis zur Regelung der Leistung von Licht, welches von einer

Lichtquelle durch eine optische Faser geleitet wird, weist eine optische Faser auf, welche nach dem erfindungsgemäßen Herstellungsverfahren hergestellt ist und deren Detektor in den Regelkreis als Istwert-Geber eingeschaltet ist.

b

Vorzugsweise ist bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung die Auskoppelstelle mit fluoreszierendem oder phosphoreszierendem Material zur Wellenlängenkonversion des Streulichts umgeben.

- 10 Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Figuren dargestellt und werden nachfolgend näher erläutert. Dabei bezeichnen gleiche Bezugszeichen gleiche Komponenten.

Es zeigen:

- 15 Fig.1a einen schematischen Querschnitt durch eine optische Faser;  
Fig.1b ein Brechungsindex-Profil der optischen Faser aus Fig.1a;  
Fig.2a einen schematischen Querschnitt durch eine  
20 erfindungsgemäße Auskoppelstelle für Streulicht aus einer optischen Faser;  
Fig.2b ein Brechungsindex-Profil der erfindungsgemäßen Auskoppelstelle für Streulicht aus der optischen Faser aus Fig.2a;  
25 Fig.3 eine Prinzipskizze einer Vorrichtung zum Überwachen der in einer optischen Faser geführten Lichtleistung gemäß der Erfindung;  
Fig.4 ein Flussdiagramm zum Modifizieren einer optischen Faser gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der  
30 Erfindung;  
Fig.5 ein Flussdiagramm zum Modifizieren einer optischen Faser gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

- Fig.6 einen Grundkörper eines Leistungsmonitors gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung; und
- Fig.7 eine Kalibrierungskurve eines Leistungsmonitors gemäß Fig.6.

5

Fig.2a stellt einen schematischen Querschnitt durch eine erfindungsgemäße Auskoppelstelle 200 in einer optischen Faser senkrecht zur Faserachse dar.

- 10 Die erfindungsgemäße Auskoppelstelle 200 ist eine Modifikation der in Fig.1a und Fig.1b beschriebenen optischen Faser 100. Dargestellt ist an der Auskoppelstelle 200 im Zentrum der modifizierten optischen Faser der Kern 201, welcher von dem Mantel 202 umgeben wird. Auf Grund der
- 15 nachfolgend beschriebenen Herstellungsweise dieser Auskoppelstelle 200 fehlt eine der Schutzschicht 103 der optischen Faser 100 vergleichbare Schutzschicht. Der Kern 201 weist ein Kernmaterial mit einem ersten Brechungsindex  $n_1$  auf und der Mantel 202 weist ein Mantelmaterial mit einem zweiten
- 20 Brechungsindex  $n_2$  auf, wobei der zweite Brechungsindex  $n_2$  kleiner als der erste Brechungsindex  $n_1$  ist ( $n_2 < n_1$ ). Zwischen dem Kern 201 und dem Mantel 202 ist ein Grenzbereich 203 angeordnet, in welchem Kernmaterial und Mantelmaterial partiell vermischt sind. Die partielle Mischung von
- 25 Kernmaterial und Mantelmaterial reicht lediglich in den peripheren Randbereich des Kerns 201 hinein, so dass die Dämpfung von durch die optische Faser hindurch transmittierter Lichtleistung möglichst gering ausfällt.
- 30 In Fig.2b ist ein Brechungsindex-Profil 210 der erfindungsgemäßen Auskoppelstelle 200 für Streulicht aus der optischen Faser aus Fig.2a dargestellt.

Das in Fig.2b dargestellte Brechungsindex-Profil 210 entspricht dem in Fig.2a dargestellten schematischen Querschnitt der optischen Faser an der Auskoppelstelle 200. In dem Brechungsindex-Profil 210 sind die Brechungsindizes  $n$  als Balkendiagramm (nicht maßstabsgerecht) der optischen Faser an der Auskoppelstelle 200 der Fig.2a dargestellt. Die Größe der Brechungsindizes  $n$  nimmt in dem Brechungsindex-Profil 210 von links nach rechts zu, wie durch den Pfeil 211 verdeutlicht wird. Der erste Brechungsindex  $n_1$  des Kerns 201 wird durch einen breiten Balken 201a symbolisiert. Der Brechungsindex des Mantels 202 wird in dem Brechungsindex-Profil 210 mittels zweier oberhalb und unterhalb an den breiten Balken 201a angrenzender Trapeze 202a mit unterschiedlich langen parallelen Seiten symbolisiert. Wie Fig.2b zu entnehmen ist, existiert in der Grenzschrift 203 zwischen dem Kern 201 und dem Mantel 202 ein kontinuierlicher Übergang 203a des Brechungsindexes zwischen dem ersten Brechungsindex  $n_1$  des Kerns 201 und dem zweiten Brechungsindex  $n_2$  des Mantels 202 an der von dem Kern 201 abgewandten Seite des Mantels 202.

Da die Ausdehnung der Auskoppelstelle 200 entlang der Faserachse (d.h. senkrecht zur Zeichenebene in Fig.2a) maximal nur wenige mm beträgt, erfolgt die Transmission von Licht durch die optische Faser mittels Totalreflexion. An der Auskoppelstelle 200 stellt jedoch das partiell vermischte Material des Kerns 201 und des Mantels 202 im Grenzbereich 203 Streuzentren (nicht dargestellt) bereit. Diese Streuzentren streuen durch die optische Faser im peripheren Bereich des Kerns 201 transmittiertes Licht derart, dass dieses Licht unter einem Winkel  $\alpha_2$ , welcher kleiner als der Grenzwinkel  $\alpha_g$  für Totalreflexion ist, d.h. es gilt  $\alpha_2 < \alpha_g$ , auf die Grenzschrift 203 zwischen dem Kern 201 und dem Mantel 202 und wird dort daher teilweise durch die Grenzschrift 203

und den Mantel 202 transmittiert ( $\alpha_2$  und  $\alpha_3$  beziehen sich auf die Flächennormale der Grenzschicht 203).

Gemäß dem dargestellten Ausführungsbeispiel wird als optische  
5 Faser eine handelsübliche Single-Mode-Faser aus Quarzglas verwendet, welche violetttes Licht im Bereich von 390 nm bis 410 nm transmittieren kann. Diese Single-Mode-Faser kann beispielsweise folgende Daten aufweisen: Der Kern weist einen Durchmesser von 3  $\mu\text{m}$  sowie einen Brechungsindex von 1,4735  
10 auf, der Mantel weist eine Dicke von ungefähr 125  $\mu\text{m}$  sowie einen Brechungsindex von 1,4695 auf und die Schutzschicht aus Acrylat weist eine Dicke von 200  $\mu\text{m}$  auf. Der Kern und der Mantel weisen Quarz auf, wobei entweder der Mantel oder der Kern geeignet dotiert ist, um die entsprechenden  
15 Brechungsindizes zu erreichen.

Zur Herstellung der Auskoppelstelle 200 wird an einer Zwischenstelle der optischen Faser 100, welche in einem im Wesentlichen geraden Bereich der optischen Faser 100  
20 angeordnet ist, zunächst die Schutzschicht entfernt und dann die Zwischenstelle elektrothermisch behandelt. Die Zwischenstelle kann eine mechanisch unversehrte Zwischenstelle oder eine Spleißstelle sein, an welcher eine zuvor getrennte optische Faser wieder verspleißt wurde  
25 (Details hierzu sind mit Bezug auf Fig.3 bis Fig.5 beschrieben).

Erfindungsgemäß wird zur elektrothermischen Behandlung der Zwischenstelle, aus welcher dann die Auskoppelstelle 200  
30 entsteht, ein handelsübliches Spleißgerät verwendet. In diesem Ausführungsbeispiel der Erfindung kommt ein Spleißgerät der Firma Sumitomo Electric vom Typ 36 zum Einsatz. Dieses Spleißgerät weist zwei Elektroden-Spitzen mit einem Abstand von 1,5 mm auf, zwischen welche die zu

behandelnde Zwischenstelle mittig positioniert wird, wobei die Faserachse der optischen Faser im Wesentlichen senkrecht zur Verbindungslinie zwischen den zwei Elektroden-Spitzen ausgerichtet wird.

5

Über die beiden Elektroden-Spitzen des Spleißgeräts wird mindestens ein Lichtbogen gezündet, wobei an den Elektroden-Spitzen bei jedem Lichtbogen eine Spannung von 12 kV anliegt und jedem Lichtbogen für eine Dauer von 0,5...2 s, insbesondere von 1 s, ein Strom von 13...14 mA zugeordnet ist. Somit wird in dem Lichtbogen eine Temperatur im Bereich von ungefähr 3.500°C bis ungefähr 4.500°C erreicht, welche deutlich größer ist als die Schmelztemperatur von Quarz, welche im Bereich zwischen 1.700°C und 1.800°C liegt.

15

Jeder Lichtbogen hat einen Durchmesser von ca. 1...2 mm. Da die optische Faser an der Zwischenstelle einen Durchmesser von rund 250 µm aufweist, umschließt jeder Lichtbogen die optische Faser an der Zwischenstelle. Entlang der Faserachse der optischen Faser wird somit die optische Faser auf einer Länge von ca. 1...2 mm (entsprechend dem Durchmesser des Lichtbogens) peripher angeschmolzen, wodurch es zu einer partiellen Vermischung von Mantelmaterial und Kernmaterial kommt. Die Zeitdauer jedes Lichtbogens wird dabei derart eingestellt, dass kaum Mantelmaterial in den Kern eindringen kann, d.h. die Dämpfung der Leistung von Licht, welches die entstehende Auskoppelstelle durch die optische Faser hindurch passiert, sehr gering ist. Um eine gewünschte Dämpfung einzustellen, werden somit mehrere gleichartige Lichtbögen im zeitlichen Abstand aufeinander folgend (d.h. gepulst) an der gleichen zu behandelnden Zwischenstelle der optischen Faser appliziert. Erfindungsgemäß werden zwischen drei und sieben, insbesondere zwischen vier und fünf, Lichtbögen zeitlich aufeinander folgend appliziert.

30

Um eine mechanische Schwächung der optischen Faser an der Auskoppelstelle 200 zu vermeiden, wird erfindungsgemäß bei der elektrothermischen Behandlung darauf geachtet, dass die  
5 optische Faser im Bereich der Auskoppelstelle 200 im Wesentlichen gerade ausgerichtet bleibt.

Fig.3 skizziert einen erfindungsgemäßen Aufbau einer fasergekoppelten Lichtquelle mit integriertem  
10 Leistungsmonitor.

Aus einer Lichtquelle 301 austretendes Licht 302 wird von einer Optik 303 kollimiert und mittels einer fokussierenden Optik 304 in eine optische Faser 100 eingekoppelt. Die  
15 optische Faser 100 ist in einem Bereich, in dem sie im Wesentlichen gerade verläuft (d.h. Licht wird mittels Totalreflexion in der optischen Faser 100 verlustfrei geführt), an einer Auskoppelstelle 200 hinsichtlich ihrer Struktur dahingehend modifiziert, dass Streulicht 305  
20 austritt. Das Streulicht 305 wird von einem Detektor 306 erfasst. Das daraufhin von dem Detektor 306 ausgegebene Detektorsignal kann einer Regelungselektronik 307 zugeführt werden, welche die Lichtquelle 301 steuert.

25 Die Auskoppelstelle 200 an der optischen Faser 100 kann mittels verschiedener Prozesse hergestellt werden. Ein möglicher Prozess gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in Fig.4 als Flussdiagramm dargestellt. Bei diesem Prozess wird als „Referenzmessung“ zunächst die durch  
30 die optische Faser 100 hindurch transmittierte Lichtleistung der Lichtquelle 301 bestimmt und anschließend die optische Faser 100 im Wesentlichen senkrecht zur Faserachse durchtrennt, so dass Faserstücke gebildet werden.

- Die entstandenen Faserstücke werden endseitig an den Trennstellen von der Schutzschicht befreit (sogenanntes „stripping“) und gesäubert. Die Endflächen der Faserstücke werden gerade und kontrolliert gebrochen (sogenanntes „cleaving“). Dann werden die Faserstücke in einem Spleißgerät in einer Gerade ausgerichtet positioniert und dann stirnseitig unmittelbar miteinander verspleißt. Anschließend wird die Spleißstelle derart modifiziert, dass an der modifizierten Spleißstelle ein Teil der geführten
- 5 Lichtleistung als Streulicht austreten kann. Hierzu kann eine unvollkommene Nahtstelle generiert werden, indem beispielsweise der Spleiß mit einem geringfügigen Querversatz der beiden Faserenden hergestellt wird.
- 10 Zum Modifizieren eignet sich beispielsweise die Applikation weiterer elektrischer Entladungsbögen, wodurch es zu einer partiellen Mischung der Materialien von Kern und Mantel im peripheren Bereich des Kerns kommt, so dass an der behandelten Stelle Streulicht auftritt. Während der
- 15 Lichtbogenbehandlung wird vorzugsweise die durch die optische Faser transmittierte Lichtleistung überwacht und die Lichtbogenbehandlung solange fortgesetzt, bis relativ zur Referenzmessung eine gewünschte Dämpfung der durch die optische Faser transmittierten Lichtleistung, beispielsweise
- 20 um 0,5...1 dB, erreicht ist.
- 25

Eine alternative Prozedur zum Modifizieren einer optischen Faser gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung ist als Flussdiagramm in Fig.5 dargestellt. Am Fasereingang wird Licht in den Faserkern eingekoppelt und am Faserende die transmittierte Lichtleistung gemessen. An der optischen Faser wird an der zu bearbeitenden Stelle die Schutzschicht entfernt und der freigelegte Fasermantel gesäubert. Der Fasermantel wird bei gerade verlaufender optischer Faser an

30



der freigelegten Stelle mittels Lichtbögen behandelt, so dass es an dieser Stelle zu einer partiellen Mischung der Materialien von Kern und Mantel kommt und dadurch ein Teil des Lichts nicht mehr in der optischen Faser geführt wird, sondern aus der optischen Faser austritt. Mittels einer Kontrolle der Parameter der Lichtbögen (z.B. Dauer, Wiederholfrequenz) kann die Intensität des Streulichts eingestellt werden, indem die durch die optische Faser transmittierte Leistung überwacht wird und die Lichtbogenbehandlung solange fortgesetzt wird, bis eine gewünschte Dämpfung erreicht ist. Bei dieser Prozedur entfällt das Durchtrennen und erneute Verschweißen der optischen Faser, wodurch eine Zeitersparnis, eine höhere mechanische Stabilität und eine bessere Reproduzierbarkeit der Ergebnisse erreicht werden.

Fig.6 zeigt den Grundkörper eines Leistungsmonitors gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung. Die optische Faser 100 wird in einen Halterungsblock 601 eingeklebt, welcher insbesondere die Auskoppelstelle 200 umgibt und schützt. An der Auskoppelstelle 200 entstandenes Streulicht 305 wird von einer als Detektor 306 verwendeten Photodiode auf Silizium-Basis detektiert, welche in dem Grundkörper 601 angeordnet ist.

Zum Einkleben der optischen Faser 100 wird ein Kleber 602 verwendet, gemäß dem vorliegenden Ausführungsbeispiel ein lichterhärtendes Photopolymer. Um in der Umgebung der Auskoppelstelle 200 einen möglichst großen Streulichtanteil detektieren zu können, kann dem Kleber 602 ein granulares Material 603 beigemischt werden, welches zusätzliche Streuzentren schafft. So hat sich beispielsweise eine Mischung aus 50 Gewichtsprozent Kleber und 50 Gewichtsprozent Glasmehl (Glasstaub aus Glaskügelchen mit einem Durchmesser

von  $< 50 \mu\text{m}$ ) als geeignet erwiesen. Die dadurch geschaffenen Streuzentren bewirken eine Homogenisierung der Winkelverteilung des gestreuten Lichts und erlauben insbesondere eine Streulichtdetektion orthogonal zur Faserachse. Anstelle von Glasmehl können dem Kleber in der Umgebung der Zwischenstelle 200 alternativ fluoreszierende oder phosphoreszierende Stoffe beigemischt werden, wodurch eine Anpassung des Streulichts an die maximale Empfindlichkeit des Detektors 306 realisiert werden kann.

10

Bei der Anbringung des Detektors 306 an der Auskoppelstelle 200 wird zur Optimierung der Streulicht-Detektion der Detektor 306 so lange verschoben, bis das Messsignal maximal ist.

15

Die Photodiode ist vor störendem Umgebungslicht zu schützen, welches das Messsignal sonst verfälschen würde. Um diesen Schutz zu gewährleisten, kann zum Einkleben der Photodiode in den Grundkörper 601 ein Kleber verwendet werden, welchem ein lichtabsorbierendes Material beigemischt wird. Dieses lichtabsorbierende Material variiert je nach Wellenlänge (UV, sichtbares Licht, IR). Geeignete Materialien bei ungefähr 400 nm sind beispielsweise Siliziumkarbid oder Kohlepulver.

20

25 Nach der Fertigung wird der Leistungsmonitor einmal kalibriert und kann dann in eine Regelschleife, beispielsweise zur Regelung der von der Lichtquelle in die optische Faser eingekoppelten Lichtleistung, integriert werden. Fig.7 zeigt eine Kalibrierungskurve, in welcher das von der Photodiode 306 gemessene Spannungssignal  $U_{PD}$  als Funktion der durch die optische Faser 100 transmittierten Lichtleistung  $P$  dargestellt ist.

30

Der Graph der Kalibrierungskurve, welche mit einem separaten Detektor am Ende des optischen Faser 100 in einem Abstand von ungefähr 10 cm hinter der Auskoppelstelle 200 aufgenommen wurde, in Fig.7 zeigt einen linearen Zusammenhang mit einer  
5 Korrelation  $R = 0,99989$  zwischen dem Signal des Streulicht-Detektors und der transmittierten Lichtleistung. Eine lineare Regression ergibt für eine Geradengleichung  $y = m \cdot x + b$  eine Steigung  $m$  von  $m = (20,5 \pm 0,1)$  mV/mW und einen Achsenabschnitt  $b$  von  $b = (0,1 \pm 0,6)$  mV. Der Offset ist also  
10 im Rahmen der Mesogenauigkeit mit Null verträglich.

Die Erfindung zeichnet sich gegenüber dem Stand der Technik dadurch aus, dass der erfindungsgemäße Leistungsmonitor einfach und preiswert gefertigt werden kann sowie ein  
15 kompaktes und platzsparendes Design und einen mechanisch robusten Aufbau aufweist. Insbesondere wird zum Auskoppeln von Streulicht aus der optischen Faser auf eine Mikrobiegung der optischen Faser verzichtet, wodurch eine Erhöhung der mechanischen Stabilität der optischen Faser erreicht wird.  
20 Somit erfolgt das Auskoppeln des Streulichts aus der optischen Faser nicht auf Grund einer mechanischen Verschiebung des Grenzwinkels für Totalreflexion bezogen auf die Richtung des einfallenden Lichts wie bei einem Biege-Auskoppler sondern auf Grund des partiellen Einbringens von  
25 Streuzentren in den Grenzbereich zwischen Kern und Mantel der optischen Faser, wodurch Teile des Lichts im Wesentlichen senkrecht auf den Mantel treffen und daher durch diesen hindurch transmittiert werden. Zur Fertigung ist keine teure Ausrüstung, wie beispielsweise ein in [13] verwendeter  
30 Vakuumpumpstand, erforderlich. Zum Applizieren der Lichtbögen kann ein handelsübliches Spleißgerät verwendet werden.

Bei der Fertigung und Anwendung des beschriebenen erfindungsgemäßen Leistungsmonitors besteht keine Gefahr

einer unbeabsichtigten Schädigung oder Zerstörung der optischen Faser. Die mechanische Stabilität der optischen Faser wird nicht wesentlich reduziert. Insbesondere wird eine die mechanische Stabilität der optischen Faser erheblich  
5 verringernde Biegung der optischen Faser an der Auskoppelstelle vermieden. Der Aufbau weist eine hohe Stabilität gegenüber mechanischen Erschütterungen sowie eine hohe Langzeitstabilität auf. Somit eignet sich der erfindungsgemäße Leistungsmonitor insbesondere bei  
10 industriellen Anwendungen fasergekoppelter Lichtquellen.

Mittels Überwachens der transmittierten Lichtleistung während des Fertigungsverfahren wird die auf Grund der Modifikation auftretende Dämpfung in der optischen Faser kontrolliert und  
15 ein definierter Streulichtanteil zur Leistungsüberwachung generiert. Ein sich änderndes Strahlprofil der Lichtquelle, etwa infolge von Alterungserscheinungen, beeinträchtigt nicht die Funktion des Leistungsmonitors.

20 Auf Grund des Schaffens zusätzlicher Streuzentren, etwa mittels Einmischens eines granularen Materials in einen verwendeten Kleber, wird der nutzbare Streulichtanteil optimiert. Da die Streuzentren lokalisiert sind, d.h. nicht auf die ganze Länge der optischen Faser verteilt sind, und  
25 außerhalb des Faserkerns liegen, wird die Lichttransmission durch die optische Faser nicht unbeabsichtigt beeinträchtigt.

Die beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahren lassen sich ohne wesentliche Veränderung des notwendigen Aufbaus auf  
30 Single-Mode- und Multi-Mode-Fasern gleichermaßen anwenden, da sie unabhängig von der Struktur und Zusammensetzung der jeweiligen optischen Faser sind. Das im zweiten Ausführungsbeispiel beschriebene Verfahren, welches auf ein Durchtrennen der optischen Faser verzichtet, ist insbesondere

auch für polarisationserhaltende optische Fasern einfach anwendbar und gut geeignet.

Neben der beschriebenen Anwendung der beschriebenen  
5 erfindungsgemäßen Verfahren auf passive laseroptische  
Wellenleiter ist weiterhin eine Anwendung bei laseraktiven  
optischen Fasern möglich, beispielsweise bei optischen Fasern  
mit einem dotierten Faserkern, welcher beispielsweise mit  
Ytterbium, Erbium, Praseodym oder Neodym sowie einer  
10 Kombination dieser Elemente dotiert sein kann. Außerdem  
können die beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahren auch auf  
photonische Kristall-Fasern angewendet werden.

Exemplarische Anwendungsgebiete sind eine kontinuierliche  
15 „online“-Überwachung der Leistung einer Lichtquelle,  
beispielsweise eines Lasers, etwa zur Detektion  
alterungsbedingter Veränderungen bei der Lichtleistung.  
Alternativ können die erfindungsgemäßen Verfahren auch zur  
Kontrolle einer Fasereinkopplung, wenn beispielsweise  
20 piezoelektrisch gesteuerte Einkoppeloptiken verwendet werden,  
eingesetzt werden.

In dieser Anmeldung sind folgende Veröffentlichungen zitiert:

- |    |      |              |
|----|------|--------------|
|    | [1]  | US 4 398 795 |
|    | [2]  | EP 0 619 506 |
| 5  | [3]  | EP 1 014 131 |
|    | [4]  | EP 1 008 876 |
|    | [5]  | US 4 781 428 |
|    | [6]  | US 4 887 879 |
|    | [7]  | US 3 936 631 |
| 10 | [8]  | US 5 080 506 |
|    | [9]  | US 5 591 964 |
|    | [10] | US 5 039 188 |
|    | [11] | US 4 165 496 |
|    | [12] | US 4 475 789 |
| 15 | [13] | US 4 923 273 |
|    | [14] | US 4 618 211 |
|    | [15] | US 4 466 627 |
|    | [16] | DE 43 13 795 |
|    | [17] | DE 43 14 031 |
| 20 | [18] | JP 55 035350 |
|    | [19] | US 4 371 897 |

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen einer optischen Faser mit einer Auskoppelstelle für Streulicht zur Überwachung der Leistung von Licht, welches durch die optische Faser geleitet wird, wobei die optische Faser einen Kern mit einem ersten Brechungsindex sowie einen den Kern umgebenden Mantel mit einem zweiten Brechungsindex, welcher kleiner als der erste Brechungsindex ist, aufweist und wobei ein Abschnitt der optischen Faser im Bereich der Auskoppelstelle im Wesentlichen gerade ausgerichtet ist,
  - bei welchem Verfahren die optische Faser an einer Zwischenstelle innerhalb des im Wesentlichen gerade ausgerichteten Abschnitts derart elektrothermisch behandelt wird, dass es im Grenzbereich zwischen dem Kern und dem Mantel zu einer partiellen Mischung von Kernmaterial mit Mantelmaterial und somit zur Ausbildung von Streuzentren kommt, wodurch aus der derart modifizierten Zwischenstelle die Auskoppelstelle für Streulicht entsteht.
2. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem vor der elektrothermischen Behandlung die optische Faser an der Zwischenstelle im Wesentlichen senkrecht zur Faserachse durchtrennt wird, so dass zwei freie Faserenden entstehen, und die zwei freien Faserenden stirnseitig unmittelbar miteinander verspleißt werden, so dass die zwei verspleißten Faserenden im Wesentlichen gerade ausgerichtet sind, und bei dem die elektrothermische Behandlung als Nachbehandlung der verspleißten Zwischenstelle durchgeführt wird.

3. Verfahren gemäß Anspruch 2, bei dem das Verspleißen der zwei Faserenden mit einem geringfügigen Querversatz der Faserenden erfolgt.
- 5 4. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem während der elektrothermischen Behandlung der optischen Faser die Leistung des Lichts, welches durch die optische Faser geleitet wird, überwacht wird und die elektrothermische Behandlung beendet wird, wenn eine gewünschte Dämpfung  
10 dieser Leistung erreicht ist.
5. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem die Auskoppelstelle mit einem lichtstreuenden, lichtbrechenden oder  
15 lichtreflektierenden Material oder mit einem lichtabsorbierenden und nachfolgend lichtemittierenden Material umgeben wird, so dass der Anteil des detektierbaren Streulichts modifiziert wird.
6. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem die elektrothermische  
20 Behandlung der Zwischenstelle durch einen Lichtbogen erfolgt.
7. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem die elektrothermische  
25 Behandlung der Zwischenstelle durch mehrere im zeitlichen Abstand aufeinander folgende Lichtbögen erfolgt.
8. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem die Intensität der Lichtbögen variiert.
- 30 9. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem an der Auskoppelstelle ein Detektor zum Erfassen von aus der Auskoppelstelle der optischen Faser emittiertem Streulicht angebracht wird.



10. Verfahren gemäß Anspruch 5, bei dem die Auskoppelstelle mit einem granularen Material umgeben wird.
11. Verfahren gemäß Anspruch 10, bei dem als granulares Material Glasmehl verwendet wird.
12. Verfahren gemäß Anspruch 11, bei dem Glasmehl mit einem Partikeldurchmesser von  $< 100 \mu\text{m}$  verwendet wird.
- 10 13. Verfahren gemäß Anspruch 11, bei dem Glasmehl mit einem Partikeldurchmesser von  $40 \mu\text{m}$  bis  $60 \mu\text{m}$  verwendet wird.
14. Verfahren gemäß Anspruch 5, bei dem die Auskoppelstelle mit einem fluoreszierenden oder phosphoreszierenden Material umgeben wird.
- 15 15. Verfahren gemäß Anspruch 9, bei dem die Auskoppelstelle und der Detektor gemeinsam mit absorbierendem Material umgeben werden, um einen Schutz vor Streulicht aus unerwünschten Richtungen zu erzeugen.
- 20 16. Verfahren gemäß Anspruch 15, bei dem als absorbierendes Material Siliziumkarbid oder Kohlepulver verwendet wird.
- 25 17. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem die optische Faser mit mindestens einer Eigenschaft bereitgestellt wird, welche der jeweiligen Eigenschaft einer Single-Mode-Faser, einer Multi-Mode-Faser, einer polarisationserhaltenden optischen Faser, einer laseraktiven optischen Faser und einer photonischen Kristall-Faser entspricht.
- 30 18. Verwendung einer optischen Faser, welche nach dem Verfahren gemäß Anspruch 9 hergestellt wurde, zum

Überwachen der Leistung von Licht einer Lichtquelle, welches durch die optische Faser geleitet wird, bei der Leistungsregelung der Lichtquelle.

- 5 19. Verwendung einer optischen Faser, welche nach dem Verfahren gemäß Anspruch 9 hergestellt wurde, zum Überwachen der Leistung von Licht einer Lichtquelle, welches durch die optische Faser geleitet wird, bei der Regelung der Einkoppleffizienz des Lichts der
- 10 Lichtquelle in die optische Faser.
20. Vorrichtung mit einem Regelkreis zur Regelung der Leistung von Licht, welches von einer Lichtquelle durch eine optische Faser geleitet wird,
- 15 • mit einer optischen Faser, welche nach dem Verfahren gemäß Anspruch 9 hergestellt ist, und deren Detektor in den Regelkreis als Istwert-Geber eingeschaltet ist.
21. Vorrichtung gemäß Anspruch 20, bei der die
- 20 Auskoppelstelle mit fluoreszierendem oder phosphoreszierendem Material zur Wellenlängenkonversion des Strahllichts umgeben ist.

Verfahren zum Herstellen einer optischen Faser mit einer Auskoppelstelle für Streulicht, Verwendung einer optischen Faser und Vorrichtung zum Überwachen von in einer optischen Faser geführter Lichtleistung

5

#### Zusammenfassung

Verfahren zum Herstellen einer optischen Faser mit einer Auskoppelstelle (200) für Streulicht zur Überwachung der Leistung von Licht, welches durch die optische Faser geleitet wird, wobei die optische Faser einen Kern (201) mit einem ersten Brechungsindex ( $n_1$ ) sowie einen den Kern (201) umgebenden Mantel (202) mit einem zweiten Brechungsindex ( $n_2$ ), welcher kleiner als der erste Brechungsindex ( $n_1$ ) ist, aufweist und wobei ein Abschnitt der optischen Faser im Bereich der Auskoppelstelle (200) im Wesentlichen gerade ausgerichtet ist, bei welchem Verfahren die optische Faser an einer Zwischenstelle innerhalb des im Wesentlichen gerade ausgerichteten Abschnitts derart elektrothermisch behandelt wird, dass es im Grenzbereich (203) zwischen dem Kern (201) und dem Mantel (202) zu einer partiellen Mischung von Kernmaterial mit Mantelmaterial und somit zur Ausbildung von Streuzentren kommt, wodurch aus der derart modifizierten Zwischenstelle die Auskoppelstelle (202) für Streulicht entsteht.

(signifikante Fig.2a)